

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КАНАТОВ ВАНТОВЫХ МОСТОВ

В. В. СУХОРИКОВ, д. т. н.;
 В. Ю. ВОЛОХОВСКИЙ, к. т. н.;
 А. Н. ВОРОНЦОВ, к. т. н.;
 В. В. ЦУКАНОВ, начальник лаборатории НК;
 А. А. АБАКУМОВ, инженер лаборатории НК
 (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», ООО «Интрон Плюс»)

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ ВАНТОВЫХ СИСТЕМ, СОГЛАСНО ГРАДКОДЕКСУ РФ, ЯВЛЯЕТСЯ СОСТАВНОЙ ЧАСТЬЮ ТЕХНИЧЕСКОГО НАДЗОРА. МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ (МС) ОТНОСЯТСЯ К ОБЪЕКТАМ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ, ПОДВЕРГАЮТСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ. ОСНОВНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАНТОВЫХ МС ЯВЛЯЕТСЯ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ И ПРИЕМЛЕМОГО РИСКА

ВВЕДЕНИЕ

Несущую способность подобных конструкций снижают различного рода повреждения вант. Особую опасность представляют дефекты, которые скрыты от осмотра и могут проявиться в ответственные периоды эксплуатации, например, при интенсивном движении по мосту. Анализ произошедших аварий МС показывает, что при обрушениях больших пролетов число пострадавших иногда превышает 100 человек.

Безопасная эксплуатация подразумевает регулярный и качественный надзор за техническим состоянием мостов. Основные задачи диагностики вант и канатов вантовых МС — получение актуальной информации о количественных показателях их технического состояния, а также об их соответствии требованиям нормативных документов, которые регламентируют безопасность сооружений в период установленного срока службы.

Согласно мировой практике, к основным видам конструкций вант и канатов вантовых систем МС относятся:

- 1) PSC — parallel strand cable (рис. 1);
- 2) PWC — parallel wire cable (рис. 2);
- 3) канаты закрытой (или спиральной) конструкции, проволоки которых имеют защитное металлическое покрытие (рис. 3).

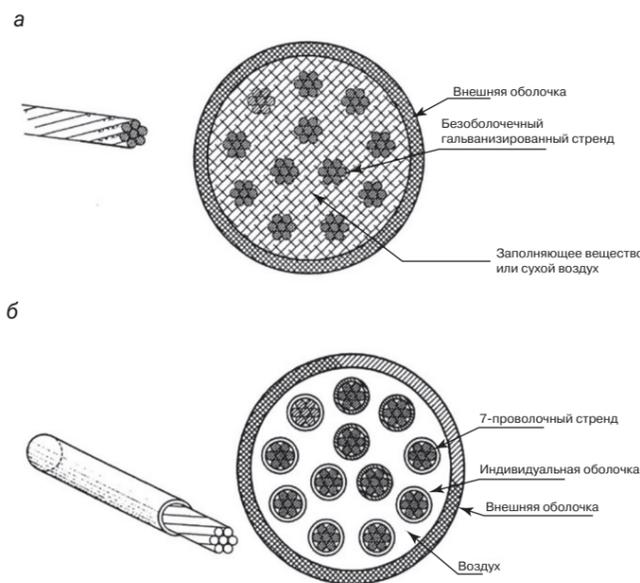


Рис. 1. Примеры конструкций вант типа PSC: а — ванта, предварительно напрягаемые стренды которой не имеют защитной оболочки (основные диаметры применяемых стрендов: 15,2 и 15,7 мм); б — ванта, состоящая из семипроволочных предварительно напрягаемых стрендов, имеющих индивидуальную защитную оболочку

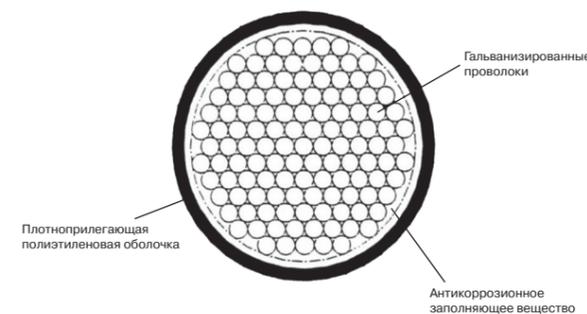


Рис. 2. Пример конструкции ванты типа PWC

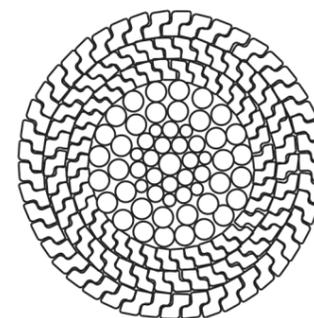


Рис. 3. Пример закрытого каната с тремя слоями Z-образных проволок 1+7+7/7+14+20+34Z+41Z+41Z (большинство применяемых закрытых канатов имеют диаметр от 40 до 95 мм)

В процессе эксплуатации МС на канаты вантовой системы и их анкерные устройства действуют неблагоприятные факторы: коррозионные процессы (как правило, в труднодоступных местах); непроектные чрезмерные нагрузки, способные привести к необратимым пластическим деформациям и обрывам проволок.

Условия окружающей среды или плохая защита вызывают коррозию (как наружную, так и внутреннюю) вант и канатов вантовой системы. Внутренняя коррозия является серьезной причиной деградации состояния проволок, стрендов и канатов вант, часто без каких-либо внешних видимых признаков. Поэтому для обнаружения коррозионных повреждений и других дефектов проволок и канатов в недоступных для визуального контроля местах применяются методы неразрушающего контроля (НК) [1, 2].

Существуют несколько подходов, согласно которым оценивается износ канатов и элементов вантовых систем. Первый из них требует разработки на стадии проектирования МС специализированной встроенной системы динамического мониторинга тех или иных диа-

гностических параметров. Эта система должна непрерывно выдавать оперативную диагностическую информацию, которая с помощью прикладного программного обеспечения пересчитывается в определенные показатели ТС контролируемого элемента конструкции.

Альтернативным способом является выборочный контроль, когда канаты, работающие в наиболее тяжелых условиях, проверяются периодически с привлечением инструментальных измерительных средств НК. Как и в первом случае, данные диагностирования могут быть преобразованы в обобщенный показатель, который позволяет судить об изменении ТС контролируемого элемента конструкции ванты в процессе эксплуатации. Подходящим для этой цели параметром может служить количественная мера потери прочности (несущей способности) вследствие постепенного накопления дефектов различной природы.

Начиная с 2009 года, специалистами лаборатории неразрушающего контроля ООО «Интрон Плюс» проинспектированы вантовые канаты уже на многих МС [3, 4]: Югорский мост через реку Обь (г. Сургут), мост «Йондзон» (на шоссе Сеул — аэропорт Инчхон, Южная Корея), мост «Факел» (г. Салехард), висячий переход тепломагистрали через реку Ангара (г. Иркутск), Октябрьский мост через реку Шексна (г. Череповец). В статье, на примере результатов диагностирования ТС вант мостового перехода через пролив Босфор Восточный на остров Русский и Югорского моста, рассматривается именно этот метод, подразумевающий оценку остаточной прочности канатов вантовых по данным НК с использованием расчетных моделей, принятых в механике материалов и конструкций.

ТЕХНОЛОГИЯ МАГНИТНОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Метод НК, основанный на регистрации магнитного поля рассеяния (magnetic flux leakage, MFL-метод), позволяет измерять относительную потерю сечения (ПС) по металлу стального каната и обнаруживать локальные дефекты (ЛД) — например, обрыв проволок (рис. 4) [3-5].

Магнитный поток вдоль оси участка контролируемого каната создают постоянные магниты или возбуждающие индуктивные катушки с током, установленные в магнитной/электромагнитной головке дефектоскопа. Физические и механические нарушения целостности проволок каната — ЛД (обрывы), сильно деформированные и истертые участки, коррозионные язвы — вызывают рассеяние магнитного потока, который регистрируется датчиками.

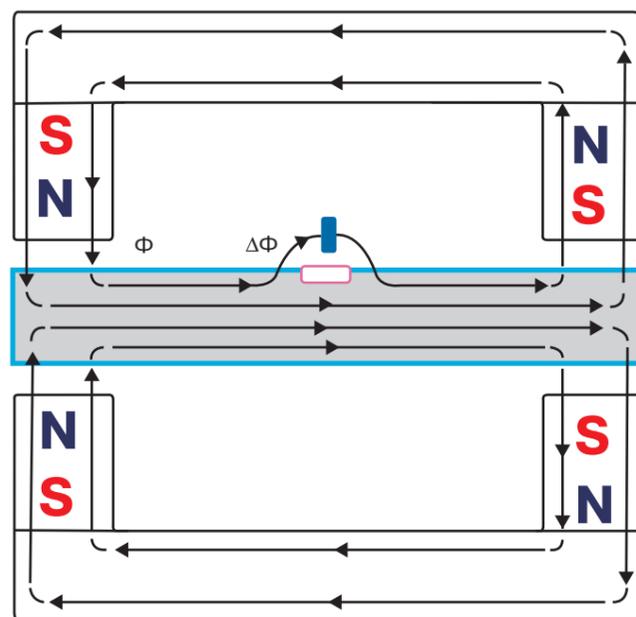


Рис. 4. Схема магнитной системы дефектоскопа вант

Комплектность дефектоскопа ИНТРОС, применяемого для диагностики стальных канатов различного назначения (канатов шахтных подъемов, грузоподъемных кранов и лифтов, подвесных канатных дорог, вант мостов и других инженерных сооружений) приведена в публикациях [3-5]. Как уже отмечалось в статье [5], магнитная дефектоскопия эффективна также и при диагностике ТС предварительно-напряженной арматуры железобетонных элементов мостовых сооружений, производимой с целью выявления различного рода повреждений, которые снижают несущую способность конструкции. Использование магнитного дефектоскопа при диагностике железобетонных балок позволяет без нарушения целостности защитного слоя бетона обнаруживать участки коррозионного поражения и обрывы отдельных проволок в арматурных прядях и пучках, а также оценивать усредненную по дефектному участку потерю сечения арматуры.

На основе работ, выполненных компанией ООО «Ин-трон Плюс», создан отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.5.009-2017 «Технология магнитной диагностики предварительно напряженной арматуры и оценки технического состояния железобетонных балок мостовых сооружений». Технология магнитного контроля вант и железобетонных элементов МС с применением дефектоскопа ИНТРОС описана и проиллюстрирована в статьях [3-5].

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И РЕСУРСА ВАНТ

По результатам инспекции дефектоскопист определяет потенциально опасные сечения ванты (каната) с неблагоприятными сочетаниями двух видов износа: потери сечения (ПС) и локальных дефектов (ЛД) — обрывов проволок. Если ванта представляет собой прядевый канат двойной свивки или имеет закрытую конструкцию, то местоположение опасного сечения устанавливается с учетом количества обрывов на длине трех шагов свивки каната в обе стороны от проверяемого сечения. На большем удалении от сечения оборванные проволоки начинают воспринимать осевую нагрузку благодаря наличию сил трения. За счет сил трения проволок друг о друга в семипроволочных стрендах несущая способность оборванной проволоки восстанавливается на существенно более далеких расстояниях от места обрыва, когда влиянием данного фактора можно пренебречь. Поэтому в вантах, состоящих из параллельных стрендов, решающим диагностическим показателем при выборе опасного сечения служит распределение ПС на контролируемой длине. При этом ослабление сечения происходит благодаря всем обрывам проволок на контролируемом участке.

Для количественной оценки технического состояния эксплуатируемых вантовых канатов по критерию «несущая способность» диагностические параметры износа ПС и ЛД необходимо преобразовать в эквивалентные прочностные характеристики конструкции ванты. С этой целью предлагается использовать показатель, принятый в механике материалов и конструкций, а именно коэффициент запаса прочности, который определяется с учетом диагностируемого износа каната на текущий момент.

Стальные канаты вантовых систем подбираются по методу предельных состояний из условия

$$F \geq P \cdot [n],$$

где: F — сертифицированное разрывное усилие каната; P — максимальное проектное расчетное натяжение каната с учетом комплекса нагрузок: начального натяжения, постоянных, временных, динамических, температурных, сейсмических и др.

В механике конструкций параметр $[n]$ имеет смысл нормативного коэффициента запаса прочности каната. Для типичных вантовых канатов нормативный коэффициент запаса прочности на стадии проектирования МС назначается из диапазона $[n] = 2,0 - 2,5$.

Разрывное усилие F (несущая способность, «агрегатная» прочность каната в целом) определяется умножением суммарного разрывного усилия всех проволок в канате на коэффициент $k = 0,80-0,90$, который приближенно учитывает винтовую структуру канатов различного типа

$$F = k \cdot A \cdot \sigma_{th}.$$

Здесь A — площадь поперечного сечения всех проволок (несущего сечения каната по металлу), σ_{th} — предел прочности материала проволок на растяжение. Суммарное разрывное усилие проволок каната и разрывное усилие каната в целом указываются в ГОСТах на канаты и в сертификатах заводов-изготовителей.

В процессе эксплуатации несущая способность вантовых канатов снижается вследствие накопления в проволоках различного рода повреждений. Фактический запас прочности рабочего вантового каната, характеризующий его актуальное техническое состояние, определяется отношением

$$n = \frac{\tilde{F}}{P},$$

где \tilde{F} — агрегатное разрывное усилие каната с дефектами, зависящее от оставшейся несущей площади сечения каната \tilde{A} :

$$\tilde{F} = k \tilde{A} \sigma_{th}.$$

Остаточная площадь сечения \tilde{A} меньше площади сечения A каната в состоянии поставки на величину

$$\Delta A = (\Delta A_1 / 100) \cdot A + \Delta A_2.$$

Здесь ΔA_1 — диагностический показатель ПС (в процентах), ΔA_2 — суммарная площадь сечений всех учитываемых оборванных проволок (ЛД-дефектов).

Таким образом, коэффициент запаса остаточной прочности, который характеризует несущую способность потенциально опасного сечения каната, оценивается как

$$n = \frac{k(A - \Delta A)\sigma_{th}}{P}.$$

Альтернативный подход к оценке несущей способности вант с дефектами базируется на теории стальных канатов М. Ф. Глушко [6]. Он заключается в расчете коэффициента запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженной проволоке каната (гипотеза «слабого звена»).

Вследствие малой изгибной жесткости допущение о работе ванты на свободной длине преимущественно на растяжение является оправданным. Однако в зонах ан-

керовки вант могут возникать значительные изгибные напряжения, которые в сочетании с осевыми растягивающими напряжениями существенно влияют на статическую и динамическую прочность, в особенности на сопротивление усталостному разрушению. Для получения уточненной картины напряженно-деформированного состояния ванты в зоне крепления необходимо использовать конечно-элементные модели конструкции анкера. Соответствующие диагностические параметры служат входными данными конечно-элементного расчета.

С течением времени при накоплении в вантовом канате повреждений фактический коэффициент запаса n может стать меньше проектного нормативного значения $[n]$. Как только это событие произошло, канат немедленно должен быть заменен. Однако, будучи статически неопределимой системой, вантовый канат способен и дальше выполнять свои функции до тех пор, пока его текущий остаточный запас прочности n не уменьшится до некоторого предельно допустимого значения $n_* < [n]$. Параметр n_* имеет смысл запаса по живучести (способности системы выполнять хотя бы частично свои функции при разрушении отдельных элементов) каната согласно терминологии теории надежности конструкций.

Для оценки ТС каната коэффициент запаса n рассчитывается в каждом потенциально опасном сечении на контролируемом свободном участке ванты и в зоне анкерования. Из полученных значений выбирается наименьшее, и критерий надежного функционирования каната формулируется как

$$\min n \geq n_*.$$

Нарушение данного условия означает отказ каната. Его работоспособность исчерпана, дальнейшая эксплуатация связана с неоправданно высоким риском, и он должен быть заменен.

Допустимый запас живучести n_* отражает приемлемый риск при эксплуатации каната (ванты) с учетом износа отдельных его элементов. Он назначается исходя из опыта работы аналогичных и/или сходных по конструкции канатов вантовых систем, или оценивается аналитически пересчетом нормативных браковочных показателей дефектности по изложенной выше методике. При несовпадении критического числа обрывов и/или предельно допустимой ПС для всех вариантов следует рассчитать требуемые значения запаса живучести n_* и выбрать из них максимальное. Это значение и будет оценкой допустимого коэффициента запаса каната с диагностированными дефектами при наименьшем риске. Данный показатель играет первостепенную роль в прогнозировании остаточного ресурса канатов и планировании сроков инспекций.

При длительной эксплуатации в стальных канатах и вантах типа PSC, PWC возможно развитие деформаций ползучести. Канат становится длиннее, его натяжение уменьшается. Как следствие, нарушается оптимальное распределение внутренних усилий в элементах вантового моста и изменяются динамические характеристики каната. Продольную ползучесть стальных оцинкованных витых и закрытых несущих канатов, подвергнутых предварительной вытяжке, следует определять по формуле

$$\varepsilon_{pl,x} = \frac{0,001\sigma}{\sigma_{th}} e^{2\left(\frac{\sigma}{\sigma_{th}}\right)^{2,4}}$$

где σ — напряжение от усилия, подсчитанного от воздействия нормативных постоянных нагрузок и 1/3 нормативной временной нагрузки с учетом транспортных потоков.

При этом должны быть учтены измеренные дефекты, которые влияют на несущую площадь сечения \tilde{A} . Деформация ползучести не должна превышать регламентируемого допустимого значения.

Оценка ТС (а именно, несущей способности) вантового каната с наработкой (календарным временем эксплуатации) t производится по следующим показателям:

- а) коэффициенту запаса прочности $n(t)$ на участке контроля в сравнении с допустимым значением n_* ;
- б) значению текущего запаса прочности $n(t)$ в сопоставлении с аналогичными показателями за ближайший предшествующий период диагностики;
- в) динамике снижения прочности на протяжении нескольких инспекций в количественном и качественном смысле;
- г) деформации ползучести каната $\varepsilon_{pl,x}$ в сравнении с допустимым значением.

Окончательную оценку ТС вантового каната по результатам диагностирования выражают одной из шести возможных категорий (от «работоспособного состояния» до «аварийного состояния») [7]. Эту оценку назначают с учетом двух величин, характеризующих изменение несущей способности (прочности) каната в процессе эксплуатации:

- а) относительная остаточная прочность каната на момент контроля — отношение текущего коэффициента запаса $n(t)$ к коэффициенту запаса нового каната $n(t=0)$:

$$\eta(t) = \frac{n(t)}{n(t=0)} 100\%;$$

- б) скорость изменения относительной прочности $\eta(t)$ в сравнении с предшествующим периодом диагностики.

В зависимости от присвоенной категории, которая напрямую связана с функциональными свойствами

вантового каната, могут быть реализованы различные сценарии: введены ограничения по интенсивности движения через мост, назначены ремонтные плановые мероприятия, первоочередной (срочный) ремонт, специальный режим контроля, замена каната.

Задачи прогнозирования работоспособности и долговечности вантовых конструкций, как правило, имеют вероятностный характер. Однако из-за отсутствия статистической информации о предельном состоянии вантовых канатов в конкретных условиях эксплуатации, а также априорных вероятностных оценок механических свойств и нагрузок, используется детерминистический прогноз индивидуального ресурса. Теоретический прогноз возможных изменений ТС каната на основе анализа его прочностной истории позволяет оценить:

- а) остаточный ресурс каната при текущей наработке t ;
- б) возможность продолжения эксплуатации каната при полученной оценке его остаточного ресурса;
- в) срок проведения следующего диагностирования и ожидаемый при этом коэффициент запаса прочности.

ОПЫТ ДИАГНОСТИКИ ВАНТ РУССКОГО МОСТА И ОЦЕНКА ИХ СОСТОЯНИЯ

Вантовая система МС состоит из двух плоскостей наклонно-поставленных вант в количестве 168 штук, расположенных по схеме «Веер».

Ванты с помощью специальных анкеров прикреплены к двум опорам: северному пилону (опора № М6), расположенному со стороны полуострова Назимова,



Рис. 5. Общий вид мостового перехода на остров Русский через пролив Босфор Восточный во Владивостоке

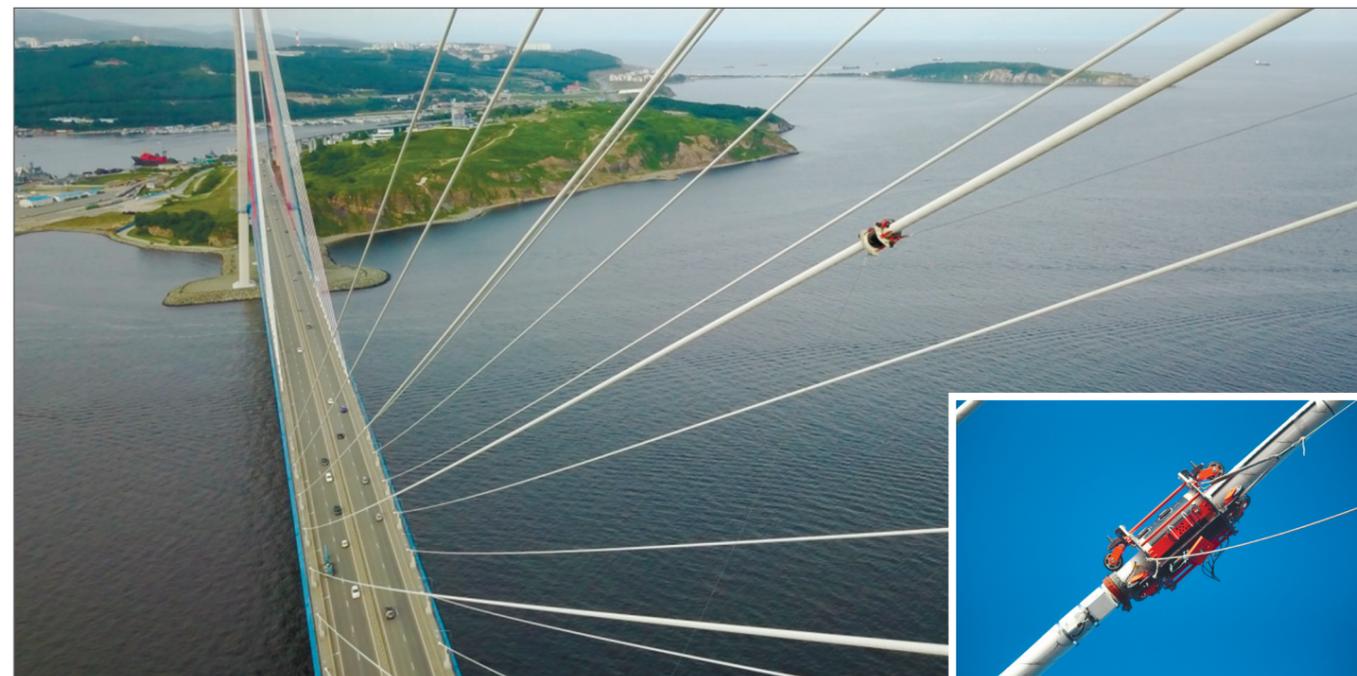


Рис. 6. Перемещение МГ 120-300 по ванте

и южному пилону (опора № М7), расположенному со стороны острова Русский. В каждый пилон заделаны 84 ванты, разделенные на два симметричных веера с каждой стороны.

Вантовая система этого МС состоит из ванты типа PSC (диаметра 140 мм, производства компании Freyssinet International et Cie (рис. 1а), которые были установлены в 2006-2009 гг. Нормативный срок службы вант (min) — 100 лет, гарантийный — 10 лет. Для центрального пролетного строения применена усовершенствованная «компактная» система PSC с более плотным размещением прядей в оболочке. Эти ванты состоят из параллельных прядей диаметром 15,7 мм, в каждой из которых 7 оцинкованных проволок. Ванты включают в себя от 13 до 85 прядей (стрендов). Длина самой короткой ванты составляет 134,329 м, самой длинной — 579,812 м. Защитная оболочка ванты выполнена из высокоплотного полиэтилена.

После завершения строительства мостового перехода (2012 год) контроль и оценка ТС вант производились специалистами лаборатории НК компании ООО «Интрон Плюс» в августе 2017 и сентябре-октябре 2018 года. Первичный НК вант методом электромагнитного сканирования был выполнен в 2017-2018 гг. Первые 50 вант проконтролированы в августе 2017 года, остальные 118 — в сентябре-октябре 2018 года. Для проведения

диагностики дефектоскоп ИНТРОС был укомплектован магнитной головкой МГ 120-300, предназначенной для контроля стрендовых вант диаметрами от 120 до 300 мм (рис. 6).

Как это следует из данных магнитной дефектоскопии, областей коррозионного поражения вант и обрывов стрендов обнаружено не было. На одной ванте был диагностирован обрыв проволоки стренда. Согласно ОДМ 218.4.001-2008, это можно квалифицировать как несущественный неустраняемый дефект (Д0 Р4), который, однако, может повлиять на остаточный ресурс ванты при ее дальнейшей эксплуатации. Обрывы проволок в стрендах не поддаются ремонту. При необходимости стренд подлежит замене полностью.

На трех вантах были обнаружены локальные увеличения металлического сечения. Все выявленные дефекты на обследованных участках вант не являются гарантийными и не требуют ремонта или иных мероприятий, направленных на их устранение.

На рис. 7 показано распределение остаточной прочности $\eta(t)$ по длине ванты (минимальное расчетное значение отмечено кружком).

Рекомендуемый на основании результатов контроля текущего ТС в 2018 году срок проведения очередной диагностики вант мостового перехода на остров Русский — не позднее сентября 2023 года.

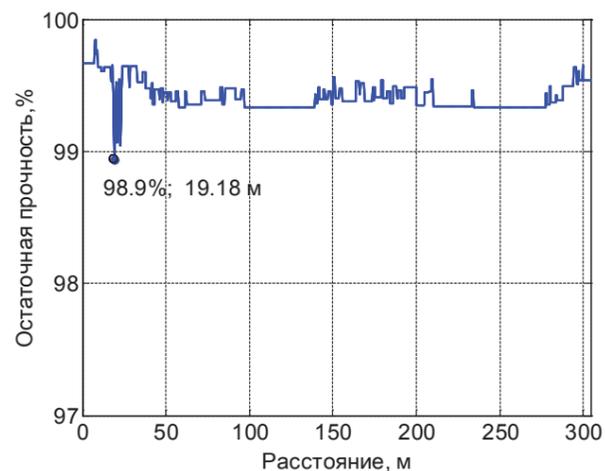


Рис. 7. Относительная остаточная прочность ванты ВБ_12_СЗ (Русский мост)

z-образных проволок, сердечник из круглых проволок; конструкция каната: 1+7+7/7+14+24+33z+34z+41z). Диагностика вант проводилась с использованием дефектоскопа ИНТРОС в составе: измерительная магнитная головка (МГ 60-85) и электронный блок (ЭБ) (рис. 9).

По сравнению с данными инспекций 2009-2017/2018 гг., в 2020 году на вантах обнаружено 9 новых выходов проволок из замка. Всего по всем 130 проконтролированным вантам обнаружено 99 мест выходов прово-



Рис. 9. Диагностирование вант Югорского моста с применением дефектоскопа ИНТРОС (МГ 60-85)

лок из замка. Диагностированный в 2020 году прирост значений ПС вант, по сравнению с результатами 2009 года, не превышает 0,6%, а по сравнению с результатами 2017/2018 гг. — не превышает 0,2%.

Расчет коэффициента запаса $n(t)$ производился на основании результатов магнитной дефектоскопии в 2009, 2017/2018 и 2020 гг. с учетом данных об усилиях в вантах, предоставленных организацией, эксплуатирующей МС. При проектных запасах прочности вантовых канатов (диапазон $[n]=2,0-2,5$) ввиду случайного характера накопления дефектов (повреждений), значение $n^* = 1,3$ принималось из соображений обеспечения 30%-го запаса по живучести относительно единицы.

Результаты расчетной оценки деградации показателя несущей способности ванты 26РВ по данным инспекций приведены на рис. 10. Обслуживающему персоналу было рекомендовано обратить внимание на участок каната 106-113 м, где проявляется тенденция к заметному снижению несущей способности.

На рис. 11 показано изменение остаточной несущей способности ванты 26РВ на протяжении 20 лет эксплуатации.

Проконтролированные в 2020 году ванты в основном имеют остаточный ресурс не менее 50 лет. За исключением 14-ти, где расчетный остаточный ресурс канатов составляет от 32 до 49 лет.

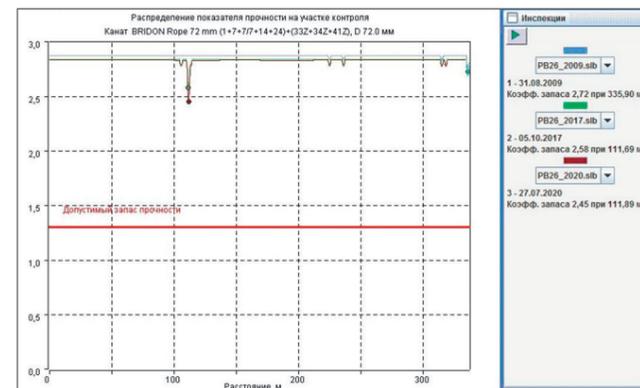


Рис. 10. Показатель прочности на участке контроля ванты 26РВ по данным инспекций в 2009, 01/7/2018 и 2020 гг. (Югорский мост)

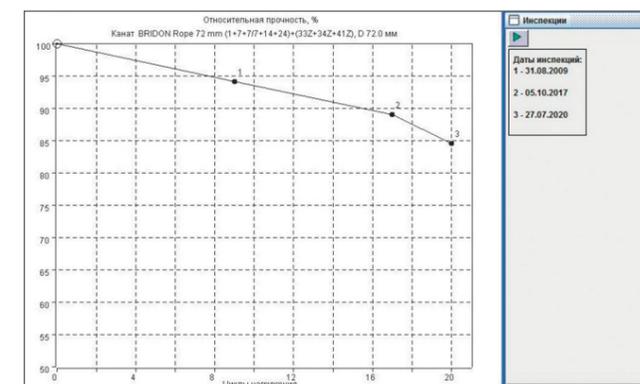


Рис. 11. Изменение остаточной прочности ванты 26РВ на протяжении 20 лет (условно принято, что цикл нагружения — 1 год)

Значение расчетного значения остаточного ресурса вант 24БВ, 9БН, 26РВ связано с появлением у них в период между инспекциями новых локальных дефектов. Для вант 25РВ, 29РВ, 31РВ, 18РН, 21РН, 24РН, 28РН снижение остаточного ресурса обусловлено увеличением усилий натяжения канатов по сравнению с данными 2009 и 2017/2018 гг. У канатов вант 14РВ, 27РВ, 17РН отмечено уменьшение расчетного значения остаточного ресурса,

Литература

1. ГОСТ Р 56542-2019. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. — М.: Стандартиформ, 2019.
2. РД 03-348-00. Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов. — Госгортехнадзор, 2000.
3. Сухоруков В.В., Воронцов А.Н., Жирнов А. В. Оценка износа вантовых канатов. — Дороги. Инновации в строительстве, 2013, №27. — С. 102-106.
4. Suhorukov V.V. MFL Technology for Diagnostics and Prediction of Object Condition. Proceedings of the 12-th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing, Slovenia, 4-6 September 2013. — P.389-402.
5. Воронцов А.Н. Мякушев К. В., Мироненко А. С., Шпаков И. И. Магнитная дефектоскопия арматуры и оценка несущей способности мостовых железобетонных балок. Дороги. Инновации в строительстве, 2015, №44. С. 36-39
6. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. — Киев: Техника, 1966. — 328 с.
7. ОДМ 218.3.042-2014. Рекомендации по определению параметров и назначению категорий дефектов при оценке технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах. Федеральное дорожное агентство. — М.: 2015. — 137 с.

обусловленное как обнаружением новых локальных дефектов, так и увеличением усилия натяжения канатов относительно данных в предыдущие годы. На основании результатов контроля ТС вантовой системы, проведенного в 2020 году, рекомендуемый срок проведения очередной диагностики вант Югорского моста — не позднее сентября 2023 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение магнитной дефектоскопии контроля канатов и вант МС позволяет получать объективную информацию об их ТС, так как позволяет определить величину ПС по свободной длине ванты, количество ЛД (оборванных проволок и т. п.) и их местоположение, а также зоны коррозионного поражения ванты. Дальнейшему развитию использования магнитного метода НК (MFL-метод) вант мостовых сооружений будет способствовать ГОСТ Р 59529-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Системы вантовые мостовых сооружений. Требования к эксплуатации».

Специализированное ПО RopeStrength позволяет определять остаточную прочность ванты и коэффициент запаса прочности, а на основании результатов ряда последовательных инспекций — и остаточный ресурс ванты, то есть повышать безопасность эксплуатации и прогнозировать остаточный срок службы ванты.

Проведение дефектоскопии вантовых систем МС требует привлечения высококвалифицированного персонала — как для проведения работ непосредственно на мосту, так и для обработки результатов, полученных в ходе контроля. Следует подчеркнуть, что для успешной расшифровки данных необходимо привлечь всю доступную информацию о канате, включая результаты визуального контроля, а также ПС и ДЛ — дефектограммы предшествующих инспекций. Достоверность заключения о текущем ТС вантовой системы моста при этом зависит от профессиональной подготовки специалистов, выполняющих диагностику, и, в первую очередь, от их практического опыта. ■



Рис. 8. Югорский мост через р. Обь вблизи Сургута